

Rec'd PCT/PTO 27 SEP 2004

PCT/UA03 / 00015 #2

10/5096

19 MAY 2003

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ВЛАСНОСТІ  
(УКРПАТЕНТ)

REC'D 17 JUN 2003

Україна: 041191 м. Київ-119, вул. Сім'ї Хохлових, 15, тел./факс 458-06-11  
Україна: МСП 04655 м. Київ-53, Львівська площа, 8, тел. 212-50-82, факс 212-50-83

MIPO 49 PCT

No. 1464/07

13" 11 2004

Міністерство освіти і науки України цим засвідчує, що  
подані матеріали є точним відтворенням первісного опису,  
формули і креслень заявки № 2002086722 на винахід патенту на  
винахід, поданої 14.08.2002.

Назва винаходу:

СПОСІБ УДАРНОГО СТИСНЕННЯ РЕЧОВИНИ,  
ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ І  
ПЛАЗМОВИЙ КАТОД ДЛЯ ТАКОГО  
ПРИСТРОЮ

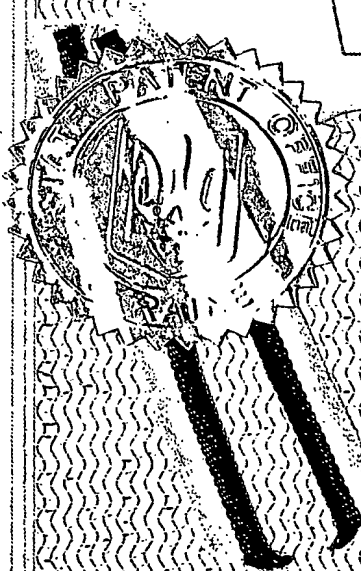
Заявники:

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ПРОТОН-21"  
Адаменко С.В.

Дійсний автор:

Адаменко С.В.

УКРАЇНА



За дорученням Державного департаменту інтелектуальної власності

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

А. Красовська

СПОСОБ УДАРНОГО СЖАТИЯ ВЕЩЕСТВА,  
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И  
ПЛАЗМЕННЫЙ КАТОД ДЛЯ ТАКОГО УСТРОЙСТВА

*Область техники*

Изобретение относится:

к технологии ударного сжатия конденсированного (жидкого или, что предпочтительнее, твёрдого) вещества до сверхплотного состояния, при котором могут протекать пикноядерные процессы и инерциальный термоядерный синтез (далее ИТС), и

к конструкции устройств для её осуществления на основе релятивистских вакуумных диодов (далее РВД), включая плазменные катоды для них.

Эта технология предназначена преимущественно для трансмутации ядер атомов одних химических элементов в ядра других химических элементов с целью:

экспериментального получения преимущественно стабильных изотопов химических элементов, включая синтез стабильных трансуранидов, и

переработки радиоактивных отходов, содержащих долгоживущие изотопы, в материалы, содержащие короткоживущие и/или стабильные изотопы, что особенно важно для дезактивации отработанных источников гамма-излучения, например на основе радиоактивных изотопов кобальта, которые широко применяют в промышленности и медицине.

В перспективе эта технология может служить для получения энергии путём ИТС с использованием предпочтительно твёрдых мишеней.

Применительно к изобретению здесь и далее обозначены:

термином «*мишень*» - однократно используемая для ударного сжатия доза по меньшей мере одного произвольного изотопа по меньшей мере одного химического элемента, который служит сырьём для получения продуктов ядерных преобразований и, по желанию, первичным энергоносителем для получения энергии;

термином «*ударное сжатие*» - изозэнтропическое импульсное действие самофокусирующейся сходящейся волны плотности на по меньшей мере часть мишени;

термином «*сверхплотное состояние*» - такое состояние по меньшей мере части мишени после ударного сжатия, в котором существенная часть её вещества преобразуется в электронно-ядерную и электронно-нуклонную плазму;

термином «*пикноядерный процесс*» - такое (в частности, «холодное») рекомбинационное взаимодействие между компонентами электронно-ядерной и электронно-нуклонной плазмы сжатого до сверхплотного состояния вещества мишени, при котором происходит по меньшей мере изменение элементного состава мишени;

термином «*плазменный катод*» - такая заменяемая по мере износа осесимметричная часть отрицательного электрода РВД, которая способна в начале разрядного импульса генерировать из материала приповерхностного слоя плазменную оболочку с близкой к

нулю работой выхода электронов,

термином *«анод-концентратор»* - такая однократно используемая сменная осесимметричная часть анода РВД, которая в простейших демонстрационных экспериментах целиком изготовлена из предпочтительно электропроводного в основной массе материала и непосредственно служит мишенью, а при использовании устройства для промышленных нужд имеет вид по меньшей мере однослойной оболочки из твёрдого прочного материала, внутри которой также осесимметрично с обеспечением акустического контакта закреплена выбранная мишень; и

термином *«фокальное пространство»* - такая часть пространства вакуумной камеры РВД, которая объёмно охватывает определённый отрезок общей геометрической оси симметрии электродов РВД и в которой при отсутствии препятствий и при заданных значениях площади эмитирующей поверхности плазменного катода, энергии электронов и плотности тока вследствие коллективной самофокусировки релятивистских электронов возможен пинч электронного пучка.

#### *Уровень техники*

Теоретически общеизвестно (см., например US Patent 4,401,618), что для проведения управляемых ядерных реакций необходимо и достаточно:

во-первых, изготовить мишень микроскопического объёма, масса которой обычно составляет от нескольких микрограммов до нескольких миллиграммов,

во-вторых, зафиксировать сформированную мишень в пространстве,

в-третьих, как можно более равномерным ударным сжатием мишени во всём её объёме перевести вещество в сверхплотное состояние и,

в-четвёртых, удержать вещество мишени в таком состоянии на время, достаточное для трансмутации и/или слияния ядер атомов, что может сопровождаться выделением или поглощением энергии.

Следует заметить, что указанные ограничения массы мишени важны в основном для ИТС, ибо 1 мг дейтерия или смеси дейтерия и трития по энергоёмкости эквивалентен примерно 20-30 кг тринитротолуола.

Теоретически также общеизвестно, что трансмутация и/или слияние ядер происходят практически одновременно с достижением сверхплотного состояния. Поэтому усилия специалистов в области ядерной физики до сих пор были направлены на создание как можно более эффективных способов и средств ударного сжатия вещества.

И, наконец, также теоретически понятно:

что такое сжатие возможно только при генерировании мощного механического импульса длительностью порядка нескольких десятков наносекунд и фокусировании этого импульса на существенной части (а в пределе – на всей) поверхности мишени, расположенной в надёжно изолированном от окружающей среды объёме,

что для этого необходимы такие средства пространственно-временного сжатия пото-

ка энергии, как первичный источник энергии, по меньшей мере один накопитель энергии, по меньшей мере один преобразователь накопленной энергии в ударный механический импульс и механический ударник для практически изоэнтропической передачи этого импульса на мишень, и

что вопрос о достаточном наборе таких средств и взаимосвязей между ними может быть решён по-разному в зависимости от целей экспериментов по ударному сжатию вещества с той оговоркой, что при подключении к промышленной сети электроснабжения первым, но не единственным накопителем энергии обычно служит устройство на основе LC-цепи (см., например: сборник статей «ENERGY STORAGE COMPRESSION AND SWITCHING» edited by W.H. Bostick, V. Nardy and O.S.F. Zucker, Plenum Press, New York and London или его русский перевод «НАКОПЛЕНИЕ И КОММУТАЦИЯ ЭНЕРГИИ БОЛЬШИХ ПЛОТНОСТЕЙ».- Москва: «МИР», 1979).

Попытки реализовать указанные теоретические предположения на практике долгие годы были направлены только на ИТС, промышленное освоение которого казалось достаточным условием перехода человечества в «энергетический рай».

Именно поэтому в качестве активного вещества первоначально применяли только газообразные дейтерий или дейтерий и тритий, а мишени изготавливали в виде герметичных полых сфер, заполненных микроскопическими (около 0,1 мг) порциями указанных изотопов водорода. Далее на каждую такую мишень синхронно и равномерно с многих сторон направляли пучки электромагнитного излучения лазерного драйвера. Нагрев оболочки вызывал абляцию (частичное испарение) её внешней части. Расширение испарившегося материала порождало реактивные силы, которые вызывали имплозию, то есть равномерное сжатие внутренней части оболочки и активного вещества мишени по направлению к центру сферы (см., например: 1. US Patent 4,401,618; 2. J. Lindl, Phys. of Plasmas, 1995; 3. K. Mima et al., Fusion Energy, 1996, IAEA, Vienna, v.3, p.13, 1996).

Эта схема ИТС казалась безупречной. Действительно, длительность импульсов лазерного излучения можно довести до величин около 1 нс. Это обеспечивает эффективное временное сжатие потока энергии, а резкое уменьшение площади поверхности мишени служит предпосылкой и для пространственного сжатия этого потока.

К сожалению, к.п.д. лазеров не превышает 5%, что с самого начала ставило под сомнение эффективность лазерного драйвера с учётом критерия Лоусона (J.D. Lawson, Proc. Phys. Soc., B.70, 1957). Далее, синхронизация включения лазеров требует сложной системы автоматического управления. И, наконец, абляция сопровождается существенными потерями энергии на нагрев оболочки и мишени в целом. Поэтому до сих пор никто не довёл газообразное вещество мишени до сверхплотного состояния и не получил положительный выход энергии, превышающий её затраты на инициирование ИТС.

Известны попытки создать давления и температуры, достаточные для инициирования и протекания ИТС, акустическим драйвером, который должен вызывать кавитацию в

конденсированных, в частности, «жидких», мишенях (US Patents 4,333,796; 5,858,104 и 5,659,173). Так, в международной публикации WO 01/39197 описаны:

(1) кавитационный термоядерный реактор, который имеет:

по меньшей мере один источник механических ультразвуковых колебаний, предпочтительно несколько звукопроводов, способных передавать эти колебания в резонансном режиме в замкнутый объём мишени с увеличением плотности потока энергии в расчёте на единицу площади, и

средство отбора тепла в виде подходящего теплообменника; и

(2) такой способ использования описанного реактора, который предусматривает:

изготовление плохо проводящих звук мишеней путём запрессовки топливного материала, необходимого для ядерного синтеза, в частности, дейтерида титана, или дейтерида лития, или дидейтерида гадолиния и т.д., в твёрдую матрицу из звукопроводного тугоплавкого металла типа титана, вольфрама, гадолиния, осмия или молибдена,

введение по меньшей мере одной такой матрицы с по меньшей мере одной такой мишенью в акустический контакт с по меньшей мере одним звукопроводом, который подключён к источнику ультразвуковых механических колебаний,

воздействие на такую матрицу серией ультразвуковых импульсов в резонансном режиме, которое, вследствие преобразования кинетической энергии механических колебаний в теплоту, вызывает механохимическую деструкцию дейтеридов и псевдоожижение мишеней и, вследствие «испарения» дейтерия из мишеней, практически одновременно возбуждает в «жидких» мишенях кавитацию, то есть появление паровых пузырьков и их схлопывание под давлением материала матрицы, и

завершение процесса после протекания внутри мишеней реакций ядерного синтеза с выделением энергии.

Применение твёрдых (в исходном состоянии) мишеней и ультразвуковых механических импульсов для их ударного сжатия кажется весьма привлекательным. К сожалению, источники ультразвука, как и лазеры, имеют незначительный к.п.д. Мало того, в отличие от лазеров эти источники дают весьма малую плотность мощности в импульсе, что и вынуждает вводить систему «источник ультразвука – дейтеридная мишень» в резонансный режим. Однако и в этом режиме основная часть энергии затрачивается на нагрев мишеней и рассеивается. Поэтому ударное сжатие вещества до сверхплотного состояния не было достигнуто даже при длительной «накачке» энергии в мишени.

Соответственно, проблема создания практически эффективных способов и средств ударного сжатия вещества до сверхплотного состояния остаётся актуальной.

Перспективный подход к её решению основан на применении РВД, которые известны с начала XX века (см., например: 1. C.D. Child, *Phys. Rev.*, v.32, h.492, 1911; 2. I. Langmuir, *Phys. Rev.*, v.2, p.450, 1913).

Каждый РВД имеет вакуумную камеру, в которой закреплены катод и анод, подклю-

чёрные к накопителю электрического заряда через импульсный разрядник. При достаточно большом заряде и малой длительности разрядного импульса такие диоды способны обеспечить взрывную эмиссию электронов с поверхности катода и их разгон до субсветовых скоростей с к.п.д. более 90%.

Именно в этом качестве генераторов и ускорителей мощных электронных пучков РВД были объектом внимания физиков в течение всего XX века, а многочисленные усовершенствования конструкции таких диодов в целом и, особенно, катодов для них были направлены на пространственно-временное сжатие энергии в электронных пучках и придание этим пучкам требуемой пространственной формы.

Попытка создать способ ударного сжатия вещества в РВД с целью ИТС известна из US Patent 3,892,970. Этот способ включает:

изготовление мишени в виде симметричной крупинки конденсированного (в частности, твёрдого) вещества, которым служит замороженное топливо для термоядерного синтеза (то есть дейтерий или смесь дейтерия и трития),

во-вторых, подачу мишени в межэлектродный промежуток РВД, в который открыт выход средства генерирования анодной плазмы, и

в-третьих, практически синхронное впрыскивание анодной плазмы и импульсное (до 10 нс) кольцевое ударное сжатие мишени закорачиванием на неё через анодную плазму мощного (порядка 100 ТВт) тока, несущего энергию около 1 МДж.

Однако таким способом весьма трудно сжать вещество мишени до сверхплотного состояния и удержать его в нём на время, достаточное для слияния ядер атомов с выделением энергии, ибо размеры мишени явно меньше длины пробега электронов с энергией около 1,5 МэВ. Поэтому кинетическая энергия электронов практически мгновенно во всём объёме мишени превращается в тепловую энергию и вызывает объёмный тепловой взрыв ядерного топлива. Далее, в известном способе крайне трудно синхронизировать попадание свободно летящей мишени в центр кольцевого катода РВД с разрядом источника энергии и созданием плоского плазменного анода. Соответственно, фокусировка потока электронов на мишени может быть достигнута только случайно несмотря на регулирование напряжения разряда и плотности анодной плазмы.

Известное из того же источника устройство для ударного сжатия вещества на основе РВД имеет сферическую оснащённую теплообменником вакуумную камеру с каналом для подачи мишеней, два симметрично расположенных относительно центральной плоскости вакуумной камеры кольцевых катода, дополнительное устройство для впрыскивания плазмы, расположенное между катодами и формирующее плоский плазменный анод непосредственно перед разрядом питающей цепи.

И, наконец, известный из того же источника катод имеет токоведущую часть и фокусирующий наконечник, который выполнен в виде кольца с острой кромкой для увеличения на ней градиента электрического поля. Во время разряда кромка такого катода покрыва-

ется собственным слоем плазмы.

В таком РВД практически невозможно передать мишени заметную долю энергии кольцевого электронного пучка, ибо он уже в момент формирования находится на пороге пинча и неустойчив (особенно в сочетании с плазменным анодом, параметры которого заметно изменяются как в течение каждого импульса, так и от импульса к импульсу).

Поэтому желательно, чтобы анод был твёрдым и либо сам по себе служил мишенью, либо включал мишень, и чтобы в процессе разряда одновременно предотвращался пинч в межэлектродном промежутке и достигалась самофокусировка электронного пучка на поверхности анода.

Удивительно, что, по имеющимся данным, в поисках средств такого рода основное внимание было уделено только профилированию эмиттеров катодов РВД при использовании практически плоских анодов. Ярким примером такого подхода может служить импульсный источник электронов на основе РВД, у которого плазменный катод имеет профилированную пластину из диэлектрика и точно так же профилированную электропроводную накладку на часть поверхности указанной пластины (SU 1545826 A1). Такой составной катод при импульсном разряде может порождать не подверженный пинчу электронный пучок с профилем, соответствующим профилю диэлектрической пластины.

Однако для ИТС и пикноядерных процессов необходимо как можно более равномерное сжатие мишени, которое нельзя обеспечить профилированием электронного пучка. Поэтому описанный РВД, как и его аналоги, практически неприменим в процессах ударного сжатия вещества до сверхплотного состояния.

Трудность подавления пинча в межэлектродном промежутке и обеспечения самофокусировки электронных пучков на поверхности мишеней породили у многих физиков такой пессимизм, что они сделали вывод о принципиальной непригодности РВД как драйвера для трансмутационных процессов и ИТС (см., например: 1. James J. Duderstadt, Gregory Moses, Inertial confinement fusion. John Wiley and Sons, New York, 1982 (Дж. Дюдерштадт, Г. Мозес. Инерциальный термоядерный синтез. М.; Энергоатомиздат, 1984, с.18.); 2. E.P. Velikhov, S.V. Putvinsky. Fusion power. Its status and role in the long-term prospects. In 4.2.2. Drivers for Inertial Controlled Fusion/ <http://relcom.website.ru/wfs-moscow>. и мн. др.).

Тем не менее, поиски в этом направлении продолжались.

Так, наиболее близкие к изобретению по технической сущности способ и устройство, которые в принципе пригодны для ударного сжатия вещества, были раскрыты на международной конференции, посвящённой ускорителям частиц (S. Adamenko, E. Bulyak et al. Effect of Auto-focusing of the Electron Beam in the Relativistic Vacuum Diode. In: Proceedings of the 1999 Particle Accelerator Conference, New York, 1999) и в более поздней статье (V.I. Vysotski, S.V. Adamenko et al. Creating and using of superdense micro-beams of relativistic electrons. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 455, 2000, pp.123-127).

Способ ударного сжатия вещества, легко усматриваемый специалистами из указан-

ных источников информации, включает:

изготовление мишени в виде такой осесимметричной детали из конденсированного вещества, которая служит по меньшей мере частью анода РВД (а именно - в виде полусферического наконечника игольчатого анода-концентратора диаметром порядка нескольких микрометров),

установку мишени в РВД, оснащённый также осесимметричным плазменным катодом, который расположен практически на одной геометрической оси с указанным анодом-концентратором и отдалён от него на несколько миллиметров, и

импульсный разряд источника питания на РВД в режиме самофокусировки электронного пучка на поверхности анода-концентратора.

Устройство для ударного сжатия вещества таким способом изготовлено на основе РВД. Оно имеет:

прочный газонепроницаемый корпус, часть которого изготовлена из электропроводного материала, выполнена осесимметричной и ограничивает вакуумную камеру, и

закреплённые в этой камере практически на одной геометрической оси осесимметричный плазменный катод и осесимметричный анод-концентратор, из которых по меньшей мере плазменный катод подключён к импульсному высоковольтному источнику питания.

Катод был выполнен по классической схеме «электропроводный сужающийся в направлении к аноду (обычно металлический) стержень – торцевой диэлектрический элемент», периметр и площадь рабочего торца которого не превышают соответственно периметр и площадь поперечного сечения указанного стержня (Mesyats G.A. Cathode Phenomena in a Vacuum Discharge: The Breakdown, the Spark and the Arc.- Moscow: Nauka Publishers, 2000, p.60).

Придание обоим электродам специфических геометрических форм позволило подавить пинч в межэлектродном промежутке РВД, заострить электронный пучок и обеспечить его самофокусировку на незначительной части поверхности анода-концентратора.

Однако такое по сути точечное воздействие на анод-концентратор пригодно лишь для демонстрации применимости РВД для ударного сжатия вещества, но не способно гарантировать сжатие вещества до сверхплотного состояния в существенной части объёма мишени при каждом очередном импульсном разряде.

#### *Краткое изложение сущности изобретения*

В связи с изложенным выше в основу изобретения положена задача:

во-первых, изменением условий выполнения операций создать такой способ ударного сжатия, который мог бы гарантировать сжатие существенной части вещества мишени до сверхплотного состояния при каждом очередном импульсном разряде на РВД,

во-вторых, изменением формы и взаиморасположения электродов в РВД создать такое устройство для ударного сжатия вещества, которое обеспечило бы практическое осуществление способа, и,



в-третьих, изменением формы и соотношения размеров электропроводной и диэлектрической частей создать такой осесимметричный плазменный катод, который обеспечивал бы наиболее экономичное практическое осуществление способа.

Поставленная задача в первой части решена тем, что в способе ударного сжатия вещества с использованием РВД, имеющего осесимметричную вакуумную камеру с электропроводными стенками, осесимметричный плазменный катод и осесимметричный анод-концентратор, включающем:

изготовление мишени в виде осесимметричной детали из конденсированного вещества, которая служит по меньшей мере частью анода-концентратора,

установку анода-концентратора в РВД с зазором относительно плазменного катода практически на одной с ним геометрической оси и

импульсный разряд источника питания на РВД в режиме самофокусировки электронного пучка на поверхности анода-концентратора,

*согласно изобретению*

используют осесимметричный плазменный катод в виде электропроводного стержня с торцевым диэлектрическим элементом, у которого периметр заднего торца по меньшей мере в плоскости, перпендикулярной оси симметрии катода, охватывает периметр указанного стержня с непрерывным зазором, а площадь эмитирующей поверхности превышает максимальную площадь поперечного сечения анода-концентратора,

анод-концентратор устанавливают с таким зазором относительно плазменного катода, при котором центр кривизны рабочей поверхности анода-концентратора расположен внутри фокального пространства коллективно самофокусирующегося электронного пучка,

и воздействуют на анод-концентратор электронным пучком с энергией электронов не менее 0,2 МэВ, плотностью тока не менее  $10^6$  А/см<sup>2</sup> и длительностью не более 100 нс.

Результаты осуществления такого способа оказались весьма неожиданными даже для изобретателя, который стремился к ним более 10-и лет. Так, при использовании простейших монометаллических мишеней из высокочистых меди, тантала и других материалов удалось экспериментально установить следующее:

заметная часть массы каждой мишени после ударного сжатия разлеталась и в виде скоплений продуктов трансмутации оседала на стенках вакуумной камеры РВД и/или на указанном далее экране;

отдельные скопления были довольно однородны по элементному составу;

в скоплениях были достоверно выявлены не только стабильные изотопы известных ныне химических элементов, которые не присутствовали в веществе мишеней в качестве примесей, но и также относительно стабильные изотопы неизвестных ныне и пока не идентифицированных трансуранидов;

изотопный состав продуктов трансмутации вещества мишеней существенно отличался от справочных данных об изотопном составе этих же элементов в земной коре,

положительный выход тепловой энергии из зоны трансмутации зафиксировать не удалось.

Это принципиально отличает трансмутацию согласно изобретению от традиционной трансмутации обстрелом твёрдых мишеней (например, из той же меди или молибдена) ионами (обычно дейтронами), которые получают из источников с магнитно-удерживаемой анодной плазмой и разгоняют на сложных и опасных в эксплуатации импульсных ускорителях до получения потоков мощностью порядка 1 кВт при энергии ионов более 5 МэВ (см., например, US Patent 5,848,110). Действительно, в таких процессах удаётся получать только заведомо известные преимущественно радиоактивные изотопы заведомо известных химических элементов, например:  $\text{Zn}^{65}$ ,  $\text{Mo}^{99}$ ,  $\text{I}^{123}$ ,  $\text{O}^{15}$  и т.д., тогда как способ согласно изобретению практически пригоден, как минимум, для синтеза трансуранидов в достаточных для химического исследования количествах.

Упомянутые выше и подробно описанные далее результаты осуществления способа согласно изобретению позволяют предположить, что электронный пучок коллективно самофокусируется на существенной части поверхности анода-концентратора и возбуждает в его приповерхностном слое механический солитоноподобный импульс плотности, сходящийся к оси симметрии мишени. Этот импульс изозентропически передает энергию, полученную от электронного пучка, на часть вещества мишени вблизи оси её симметрии. Передний фронт указанного импульса стремится приобрести сферическую форму. Поэтому по мере приближения солитоноподобного импульса к некоторому малому объёму с центром на оси симметрии мишени происходит укрупнение его переднего фронта и возрастание плотности энергии в нём до величины, достаточной для достижения сверхплотного состояния вещества и протекания пикноядерных процессов. Именно поэтому на простейшем (и, что важно, практически безопасном в эксплуатации) ускорителе электронов типа РВД с минимальным расходом энергии удаётся, как будет подробно показано ниже, обеспечивать трансмутационные ядерные реакции с получением широкого спектра изотопов.

Первое дополнительное отличие состоит в том, что в составе РВД используют такой плазменный катод, у которого электропроводный стержень заострён, а торцевой диэлектрический элемент имеет отверстие для насадки на указанный стержень, посадочная часть которого вместе с остриём находится внутри указанного отверстия. Это позволяет по меньшей мере частично регулировать межэлектродный зазор в РВД и стабилизировать работу плазменного катода, что особенно важно для экспериментальной оптимизации процесса ударного сжатия.

Второе дополнительное отличие состоит в том, что мишень формируют в виде вставки в центральную часть анода-концентратора РВД, диаметр которой выбирают в пределах от 0,05 до 0,2 максимального поперечного размера анода-концентратора. Это позволяет использовать в качестве объекта, который сжимают до сверхплотного состояния, любые материалы независимо от их электропроводности и применять их как в твёр-

дом, так и в жидком состоянии. Естественно, что жидкости предварительно капсулируют либо непосредственно в твёрдой оболочке анода-концентратора, либо в отдельной оболочке, которую после герметизации вставляют в анод-концентратор с обеспечением плотного акустического контакта.

Третье дополнительное отличие состоит в том, что по меньшей мере той части анода-концентратора, которая обращена к плазменному катоду, придают сфероидальную форму. Это позволяет свести механический солитоноподобный импульс плотности в микроскопически малый объём и даже при минимальном (порядка 300-1000 Дж) расходе энергии внутри РВД на один «выстрел» обеспечивать ударное сжатие вещества каждой очередной мишени до сверхплотного состояния с получением  $10^{17}$ - $10^{18}$  атомов как продуктов трансмутации.

Четвёртое дополнительное отличие состоит в том, что мишень формируют в виде сфероидального тела, которое плотно фиксируют внутри анода-концентратора таким образом, что центры внутреннего и внешнего сфероидов практически совпадают. Тем самым удаётся заметно повысить выход трансмутированного материала.

Пятое дополнительное отличие состоит в том, что на анод-концентратор воздействуют электронным пучком с энергией электронов до 1, 5 МэВ, плотностью тока не более  $10^8$  А/см<sup>2</sup> и длительностью не более 50 нс. Эти режимы достаточны для протекания пикноядерных процессов в мишенях, состоящих из наиболее стабильных атомов химических элементов из «средней части» таблицы Менделеева.

Шестое дополнительное отличие состоит в том, что плотность тока в электронном пучке составляет не более  $10^7$  А/см<sup>2</sup>, что достаточно для эффективного ударного сжатия большинства конденсированных мишеней.

Седьмое дополнительное отличие состоит в том, что остаточное давление в вакуумной камере РВД поддерживают на уровне не более 0,1 Па, что вполне достаточно для исключения газового разряда между электродами РВД.

Поставленная задача во второй части решена тем, что в устройстве для ударного сжатия вещества на основе РВД, которое включает:

прочный газонепроницаемый корпус, часть которого изготовлена из электропроводного материала, выполнена осесимметричной и ограничивает вакуумную камеру, и

установленные в вакуумной камере с зазором практически на одной геометрической оси осесимметричные плазменный катод и анод-концентратор, из которых по меньшей мере катод подключён к импульсному высоковольтному источнику питания,

*согласно изобретению*

плазменный катод выполнен в виде электропроводного стержня с торцевым диэлектрическим элементом, у которого периметр заднего торца по меньшей мере в плоскости, перпендикулярной оси симметрии катода, охватывает периметр указанного стержня с непрерывным зазором, а площадь эмитирующей поверхности превышает максимальную

площадь поперечного сечения анода-концентратора,

по меньшей мере один из электродов РВД снабжён средством регулирования межэлектродного зазора, а

расстояние от общей геометрической оси указанных плазменного катода и анода-концентратора до внутренней стороны электропроводной стенки вакуумной камеры превышает  $50d_{max}$ , где  $d_{max}$  - максимальный поперечный размер анода-концентратора.

РВД, обладающий совокупностью указанных признаков, как минимум пригоден для трансмутации ядер одних химических элементов в ядра других химических элементов, как это указано выше в комментариях к сущности способа согласно изобретению.

Первое дополнительное отличие состоит в том, что электропроводный стержень плазменного катода заострён, а торцевой диэлектрический элемент имеет отверстие для насадки на указанный стержень, посадочная часть которого вместе с остриём находится внутри указанного отверстия. При такой конструкции перемещением диэлектрического элемента относительно электропроводного стержня можно стабилизировать работу плазменного катода и по меньшей мере частично регулировать межэлектродный зазор в РВД.

Второе дополнительное отличие состоит в том, что анод-концентратор имеет круглую в поперечном сечении форму и целиком выполнен из электропроводного в основной массе материала, подлежащего трансмутации. Это позволяет на простейших образцах из чистых металлов или сплавов металлов демонстрировать эффект трансмутации и, в частности, получать трансураниды.

Третье дополнительное отличие состоит в том, что анод-концентратор выполнен составным и включает по меньшей мере однослойную твёрдую оболочку и плотно охваченную этой оболочкой вставную мишень в виде тела вращения, которая изготовлена из произвольного конденсированного материала и имеет диаметр в пределах  $(0,05-0,2) \cdot d_{max}$ , где  $d_{max}$  - максимальный поперечный размер анода-концентратора. Это позволяет проводить ударное сжатие вещества не только с целью трансмутации ядер атомов, но и с целью получения энергии в зоне протекания пикноядерных процессов с существенным (по меньшей мере на порядок) превышением критерия Лоусона.

Четвёртое дополнительное отличие состоит в том, что в хвостовой части анода-концентратора установлен по меньшей мере один экран из предпочтительно электропроводного материала. Он может улавливать часть продуктов пикноядерных процессов, полученных при ударном сжатии до сверхплотного состояния основной мишени, и служить дополнительной мишенью для межъядерных взаимодействий при разлёте частиц анода-концентратора.

Пятое дополнительное отличие состоит в том, что указанный экран выполнен в виде тонкостенного тела вращения, диаметр которого составляет не менее  $5d_{max}$  и которое удалено от ближайшего к плазменному катоду торца этого анода на расстояние до

$20d_{max}$ , где  $d_{max}$  – максимальный поперечный размер анода-концентратора. При этих условиях электропроводный экран способствует самофокусировке электронного пучка на большей части поверхности анода-концентратора и улавливает заметную часть продуктов пикноядерных процессов.

Шестое дополнительное отличие состоит в том, что указанное тонкостенное тело вращения со стороны анода-концентратора имеет плоскую или вогнутую поверхность. Это существенно замедляет зарастание стенок вакуумной камеры РВД осадками, которые содержат продукты пикноядерных процессов.

Поставленная задача в третьей, вспомогательной части решена тем, что в осесимметричном плазменном катоде, который имеет электропроводный стержень для подключения к импульсному высоковольтному источнику питания и торцевой диэлектрический элемент, *согласно изобретению*, по меньшей мере в плоскости, перпендикулярной оси симметрии катода, периметр заднего торца диэлектрического элемента охватывает периметр указанного стержня с непрерывным зазором.

Торцевой диэлектрический элемент такого катода при пробое по поверхности практически мгновенно покрывается плазмой. Работа выхода электронов из такой плазмы близка к нулю. Поэтому ток в межэлектродном зазоре РВД и, соответственно, суммарная энергия электронов в электронном пучке практически совпадают с физически допустимыми максимальными значениями этих параметров. Именно поэтому плазменный катод *согласно изобретению* предпочтительно применять в устройствах на основе РВД для ударного сжатия вещества.

Первое дополнительное отличие состоит в том, что электропроводный стержень плазменного катода заострѐн, а торцевой диэлектрический элемент имеет отверстие для насадки на указанный стержень, посадочная часть которого вместе с остриём находится внутри указанного отверстия. Как уже было сказано выше, это позволяет использовать плазменный катод по меньшей мере как одно из средств регулирования межэлектродного зазора в РВД.

Второе дополнительное отличие состоит в том, что торцевой диэлектрический элемент имеет глухое отверстие, что предпочтительно при регулировании межэлектродного зазора в РВД.

Третье дополнительное отличие состоит в том, что торцевой диэлектрический элемент имеет сквозное отверстие, что предпочтительно при регулировании образования плазменного облака при пробое и стабилизации работы РВД.

Четвёртое дополнительное отличие состоит в том, что торцевой диэлектрический элемент изготовлен из материала, выбранного из группы, состоящей из карбоцепных полимеров с одинарными углерод-углеродными связями, композиционных материалов с органическими связующими типа гетинакса или текстолита, эбеновой древесины, природной или синтетической слюды, чистых оксидов металлов III-VII групп периодической системы

элементов Менделеева, неорганических стёкол, ситаллов, керамических диэлектриков и войлока из базальтового волокна.

Этот предпочтительный перечень позволяет подбирать диэлектрические материалы с учётом разных требований. Например, указанные органические материалы и войлок из базальтового волокна желательны из соображений удобства изготовления торцевых диэлектрических элементов и манипулирования ими при регулировании межэлектродного зазора в РВД, а прочие указанные неорганические материалы желательны с точки зрения стойкости к износу и минимума влияния на остаточное давление в вакуумной камере РВД после каждого очередного «выстрела».

Пятое дополнительное отличие состоит в том, что торцевой диэлектрический элемент имеет развитую поверхность, что облегчает образование плазменного облака при пробое.

Шестое дополнительное отличие состоит в том, что минимальный поперечный размер указанного диэлектрического элемента  $C_{дз\ мин} = (5-10) \cdot C_{эс\ макс}$ , а длина этого элемента  $l_{дз} = (10-20) \cdot C_{эс\ макс}$ , где  $C_{эс\ макс}$  - максимальный поперечный размер электропроводного стержня. При таких относительных размерах частей плазменного катода полностью исключается пинч в межэлектродном промежутке РВД и гарантируется самофокусировка электронного пучка на существенной части анода-концентратора.

Должно быть понятно,

что при выборе конкретных вариантов осуществления изобретения возможны произвольные комбинации указанных дополнительных отличий с основным изобретательским замыслом,

что этот замысел в пределах, очерченных формулой изобретения, может быть дополнен и/или уточнён с использованием обычных знаний специалистов и

что описанные далее предпочтительные примеры воплощения изобретательского замысла никоим образом не ограничивают объём прав на основе изобретения.

#### *Краткое описание чертежей*

Далее сущность изобретения (на примерах трансмутации ядер в пикноядерных процессах) поясняется подробным описанием конструкции устройства и способа ударного сжатия вещества со ссылками на прилагаемые чертежи, где изображены на:

фиг.1 – конструктивная схема взаиморасположения электродов в РВД с указанием регулируемых геометрических параметров;

фиг.2 – структурная схема импульсного высоковольтного источника питания;

фиг.3 – предпочтительная конструкция осесимметричного плазменного катода (в продольном разрезе по оси симметрии);

фиг.4 – вид заднего торца осесимметричного плазменного катода в плоскости IV-IV (с поперечным сечением электропроводного стержня);

фиг.5 – цельный осесимметричный анод-концентратор, непосредственно используе-

мый в качестве мишени для демонстрации ударного сжатия вещества до сверхплотного состояния (в продольном разрезе по оси симметрии);

фиг.6 – пустотелый осесимметричный анод-концентратор со вставной сфероидальной мишенью, предназначенный, например, для по меньшей мере частичной трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов выбранных химических элементов в стабильные изотопы преимущественно иных химических элементов (в продольном разрезе по оси симметрии);

фиг.7 – график изменения напряжения и тока в разрядном импульсе РВД;

фиг.8 – график абсолютного (в процентах по массе) распределения химических элементов по массам атомных ядер в продуктах трансмутации химически чистой меди;

фиг.9 – график относительного распределения тех же химических элементов по массам атомных ядер в продуктах трансмутации химически чистой меди;

фиг.10 – график абсолютного (в процентах по массе) распределения химических элементов по массам атомных ядер в продуктах трансмутации химически чистого тантала;

фиг.11 – график относительного распределения тех же химических элементов по массам атомных ядер в продуктах трансмутации химически чистого тантала;

фиг.12 – график абсолютного (в процентах по массе) распределения химических элементов по массам атомных ядер в продуктах трансмутации химически чистого свинца;

фиг.13 – график относительного распределения тех же химических элементов по массам атомных ядер в продуктах трансмутации химически чистого свинца;

фиг.14 – реперный масс-спектр изотопов никеля, полученный исследованием образцов природного никеля и совпадающий с естественной распространённостью таких изотопов в земной коре;

фиг.15 – масс-спектр относительного распределения изотопов никеля в одном из скоплений на медном экране, полученных в результате пикноядерных процессов в цельной медной мишени (образец № 1);

фиг.16 – такой же масс-спектр, как на фиг.16, полученный при исследовании другого скопления атомов никеля на том же экране;

фиг.17 – микрофотография продукта ударного сжатия вещества до сверхплотного состояния в виде «вбитой» в медный экран и частично протравленной ионным пучком железной полусферы со сферическим углублением.

#### *Наилучшие варианты осуществления изобретения*

Устройство согласно изобретению (см. фиг.1) выполнено на основе РВД. Его существенными частями служат:

прочный газонепроницаемый корпус 1, часть которого изготовлена из электропроводного материала (например, из меди или нержавеющей стали), выполнена осесимметричной и ограничивает вакуумную камеру, замкнутую в рабочем положении торцевой диэлектрической крышкой 2 и подключаемую по мере необходимости через по меньшей ме-

ре один не обозначенный особо штуцер к вакуум-насосу;

нерасходуемый осесимметричный электропроводный стержень 3 предпочтительно круглой в поперечном сечении и преимущественно конусообразной в продольном сечении формы, который жёстко и герметично закреплён в крышке 2 и служит для подключения РВД к описанному ниже импульсному высоковольтному источнику питания;

сменный (по мере износа) осесимметричный плазменный катод, имеющий:

- электропроводный стержень 4, хвостовик которого закреплён в стержне 3, и
- жёстко связанный со стержнем 4 торцевой диэлектрический элемент 5, у которого площадь рабочего торца превышает площадь поперечного сечения стержня 4;

осесимметричный анод-концентратор 6, который может быть цельным или включать мишень 7 и у которого максимальная площадь поперечного сечения меньше площади эмитирующей поверхности торцевого диэлектрического элемента 5;

по желанию, экран 8 из предпочтительно электропроводного материала, который установлен в хвостовой части анода-концентратора 6;

по меньшей мере одно (не показанное конкретно и условно обозначенное только парами стрелок под изображениями плазменного катода 4,5 и анода-концентратора 6) средство регулирования межэлектродного зазора, то есть промежутка между лежащими практически на одной геометрической оси точкой пересечения торцевой поверхности диэлектрического элемента 5 плазменного катода с осью его симметрии и аналогичной точкой на торце анода-концентратора 6.

Импульсный высоковольтный источник питания РВД (см. фиг.2) в простейшем случае может быть выполнен в виде хорошо известной специалистам системы, включающей по меньшей мере один ёмкостной или индуктивный накопитель энергии с по меньшей мере двумя плазменными (или иными) прерывателями тока. Однако предпочтительны такие «гибридные» источники питания (см., например: 1. P.F. Ottinger, J.Appl.Phys., 56, No.3, 1984; 2. Долгачёв Г.И. и др. Физика плазмы, 24, №12, с.1078, 1984), которые имеют последовательно включённые (см. фиг.2):

входной трансформатор 9 со средством подключения к промышленной электрической сети и высоковольтной выходной обмоткой,

накопительную LC-цепь 10, содержащую не показанные особо подходящие конденсаторы и элементы индуктивности, и

блок 11 плазменного прерывания тока разряда в LC-цепи, содержащий несколько симметрично расположенных в одной плоскости хорошо известных специалистам плазменных пушек, количество которых (в частности до 12-и штук) обычно равно количеству конденсаторов в составе LC-цепи.

Естественно, что наряду с указанными «силовыми» блоками в состав импульсных высоковольтных источников питания РВД обычно включены такие не показанные особо средства измерения импульсных токов и напряжений, как по меньшей мере один пояс Ро-



говского и по меньшей мере один ёмкостной делитель напряжения.

Источник такого типа был использован для питания РВД в описанных далее экспериментах по ударному сжатию вещества до сверхплотного состояния. Этот источник мог обеспечивать следующие предельные значения управляемых параметров:

средняя энергия электронов в пучке.....от 0,2 до 1,6 МэВ;  
 длительность существования электронного пучка.....до 100 нс;  
 мощность электронного пучка.....от  $2 \cdot 10^9$  до  $0,75 \cdot 10^{12}$  Вт;  
 ток высоковольтного разряда.....от 10 кА до 500 кА.

Для эффективного осуществления способа ударного сжатия вещества при изготовлении отдельных частей РВД и мишеней рекомендуется соблюдать ряд дополнительных условий.

Так, важно, чтобы расстояние от общей геометрической оси плазменного катода 4,5 и анода-концентратора 6 до внутренней стороны электропроводной стенки корпуса 1 превышало  $50d_{max}$  где  $d_{max}$  - максимальный поперечный размер анода-концентратора 6.

Целесообразно, чтобы плазменный катод (см. фиг.3) имел заострённый электропроводный стержень 4 и торцевой диэлектрический элемент 5 с глухим или сквозным отверстием. Этот элемент 5 должен быть посажен на стержень 4 с незначительным натягом так, чтобы посадочная часть стержня 4 вместе с остриём находилась внутри указанного отверстия. При этом форма такого отверстия и поперечного сечения стержня 4 (при соблюдении условия осесимметричности) в поперечном сечении может быть некруглой (например, овальной, эллиптической, звездообразной, как показано на фиг.4, и т.д.).

Также целесообразно, чтобы периметр заднего торца диэлектрического элемента 5 (см. фиг.4) по меньшей мере в плоскости, перпендикулярной оси симметрии плазменного катода, охватывал периметр электропроводного стержня 4 с непрерывным зазором. Понятно, что это условие может быть выполнено при разной форме контуров поперечных сечений стержня 4 и элемента 5.

Весьма желательно, чтобы торцевой диэлектрический элемент 5 плазменного катода имел развитую внешнюю поверхность, например, исходно шероховатую, как показано на фиг.4, или преднамеренно рифлёную по меньшей мере в одном произвольном направлении. В частности, могут быть использованы элементы 5, которые в поперечном сечении имеют форму осесимметричной многолучевой звезды.

Желательно, чтобы минимальный поперечный размер  $S_{дз мин}$  торцевого диэлектрического элемента 5 был выбран в интервале  $(5-10) \cdot S_{эс макс}$ , а длина  $l_{дз}$  этого элемента находилась в интервале  $(10-20) \cdot S_{эс макс}$ , где  $S_{эс макс}$  - максимальный поперечный размер электропроводного стержня 4.

Элемент 5 плазменного катода может быть изготовлен из любого диэлектрического материала, который - при выбранных форме и размерах - способен к пробою при выбран-

ном рабочем напряжении в зазоре между электродами РВД.

Желательно, чтобы такой материал был выбран из группы, состоящей из карбоцепных полимеров с одинарными углерод-углеродными связями (например, полиэтилена или полипропилена), композиционных материалов с органическими связующими типа гетинакса или текстолита, эбеновой древесины, природной или синтетической слюды, чистых оксидов металлов III-VII групп периодической системы элементов Менделеева, неорганических стёкол, ситаллов, войлока из базальтового волокна и керамических диэлектриков.

Осесимметричный анод-концентратор 6, как уже было указано выше, может быть:

либо цельным (см. фиг.5) и состоять из произвольного твёрдого обычно электропроводного в массе предпочтительно металлического материала (включая как чистые металлы, так и их сплавы), например, из меди, тантала, свинца и т.д.;

либо иметь (см. фиг.6) по меньшей мере однослойную преимущественно сфероидальную оболочку 6 из предпочтительно электропроводного материала и плотно закреплённую в ней вставную осесимметричную мишень 7 из произвольного конденсированного (твёрдого или жидкого) вещества, которое подлежит ударному сжатию.

Максимальный диаметр вставной осесимметричной мишени 7 желательно выбирать в пределах  $(0,05-0,2) \cdot d_{max}$ , где  $d_{max}$  - максимальный поперечный размер анода-концентратора 6 в целом. Независимо от геометрической формы тела мишени 7 она должна быть закреплена внутри анода-концентратора 6 так, чтобы центр кривизны её поверхности практически совпадал с центром кривизны рабочей поверхности анода-концентратора 6. Очень важно, чтобы плотность дислокаций в материале анода-концентратора 6 и в материале мишени 7 была как можно меньше и чтобы между этими деталями был обеспечен акустический контакт.

Экран 8, устанавливаемый в хвостовой части анода-концентратора 6, обычно изготовлен из электропроводного материала и имеет вид преимущественно тонкостенного тела вращения. Диаметр экрана 8 должен быть не менее  $5d_{max}$ , а его удаление от рабочего торца анода-концентратора 6 — не более  $20d_{max}$ , где  $d_{max}$  - максимальный поперечный размер анода-концентратора 6. Желательно, чтобы экран 8 со стороны рабочего торца анода-концентратора 6 имел плоскую или вогнутую поверхность (см. фигуры 5 и 6).

Способ ударного сжатия вещества с помощью описанного устройства в общем виде предусматривает:

а) подключение электропроводного стержня 4 описанного выше плазменного катода к нерасходуемому электропроводному стержню 3;

б) изготовление запаса сменных осесимметричных анодов-концентраторов 6 с предпочтительно скруглёнными рабочими торцами в одном из двух вариантов, а именно:

либо в виде цельных деталей из подлежащего ударному сжатию (и трансмутации или иному ядерному преобразованию) материала,

либо в виде предпочтительно однослойных оболочек, в которые плотно вставлены

мишени 7 из (при необходимости, предварительно капсулированного) подлежащего ударному сжатию (и трансмутации или иному ядерному преобразованию) материала;

в) по желанию, оснащение по меньшей мере некоторых анодов-концентраторов 6 электропроводными экранами 8 из меди, свинца, ниобия, тантала и т.д.;

г) установку каждого очередного анода-концентратора 6 в вакуумную камеру корпуса 1 РВД практически на одной геометрической оси с плазменным катодом 4,5;

д) регулирование зазора между рабочими торцами торцевого диэлектрического элемента 5 плазменного катода и анода-концентратора 6 таким образом, чтобы центр кривизны рабочей поверхности анода-концентратора 6 при импульсном разряде источника питания на РВД оказался внутри фокального пространства коллективно самофокусирующегося электронного пучка;

е) запирание вакуумной камеры установкой торцевой крышки 2 из диэлектрического материала на фланец прочного газонепроницаемого электропроводного корпуса 1 РВД;

ж) вакуумирование камеры в корпусе 1 РВД, которое проводят:

перед первым «выстрелом» по меньшей мере дважды (сначала откачивая воздух, а затем по меньшей мере однократно продувая камеру чистым сухим азотом и повторно откачивая до остаточного давления газов не более 0,1 Па), а

перед каждым последующим «выстрелом» - по меньшей мере однократно, если остаточное давление превысит указанную величину;

з) подключение внешнего высоковольтного источника питания РВД к электрической сети через входной трансформатор 9 и накопление необходимого для эксперимента запаса электрической энергии в LC-цепи 10;

и) разряд LC-цепи 10 через блок 11 плазменного прерывания импульса тока, нерасходуемый осесимметричный электропроводный стержень 3, сменный электропроводный стержень 4 и торцевой диэлектрический элемент 5 на анод-концентратор 6 РВД, при котором порождается электронный пучок с энергией электронов не менее 0,2 МэВ, плотностью тока не менее  $10^6$  А/см<sup>2</sup> (а предпочтительно не более  $10^8$  А/см<sup>2</sup> и особо предпочтительно – не более  $10^7$  А/см<sup>2</sup>) и длительностью не более 100 нс (а предпочтительно не более 50 нс);

к) извлечение из вакуумной камеры корпуса 1 РВД продуктов, возникших при сжатии части вещества мишени до сверхплотного состояния, и исследование этих продуктов общепринятыми методами и средствами.

Экспериментальными мишенями служили:

для демонстрации эффекта трансмутации при ударном сжатии вещества до сверхплотного состояния - цельные аноды-концентраторы 6 согласно фиг.5; а

для оценки возможности обезвреживания радиоактивных материалов - пустотелые аноды-концентраторы 6 с вставными (с соблюдением условий плотного акустического контакта и практического совпадения центров кривизны рабочих поверхностей) мишенями 7 (см. фигуры 1 и 6).

Цельные аноды-концентраторы 6 имели усреднённый радиус кривизны рабочих торцев, как правило, в интервале от 0,2 до 0,5 мм. Они были, в частности, изготовлены из таких химически чистых металлов, как медь, тантал и свинец. Такие аноды-концентраторы 6 можно хранить на воздухе. Возникающая при этом на поверхности (особенно меди и свинца) оксидная плёнка не препятствует, а по некоторым наблюдениям даже способствует их применению по указанному выше назначению.

Вставные мишени 7 имели вид гранул, которые были изготовлены из доступного на рынке изотопа  $\text{Co}^{60}$  и из искусственных смесей  $\text{Co}^{56}$  и  $\text{Co}^{58}$ , полученных облучением природного никеля на циклотроне У-120 в Институте ядерных исследований Национальной академии наук Украины.

При использовании таких мишеней внутри вакуумных камер РВД устанавливали дополнительные не показанные особо оболочки из поликапролактама (капрона). Эти оболочки охватывали оба электрода РВД и существенно снижали опасность оседания остатков радиоактивного кобальта на стенках корпуса 1 и крышки 2 РВД.

Исходные и достигнутые после трансмутации использованных изотопов кобальта значения радиоактивности контролировали с помощью общеизвестных германий-литиевых гамма-детекторов.

До начала рабочих экспериментов по ударному сжатию вещества до сверхплотного состояния было проведено более тысячи «пристрелочных» экспериментов. По их итогам были выбраны и уточнены границы межэлектродного зазора в РВД, гарантирующие (с учётом размеров деталей плазменного катода и анода-концентратора и конкретных режимов разряда) попадание центров кривизны мишеней в фокальное пространство электронного пучка РВД.

Рабочие эксперименты проводили сериями. Их количество в сериях было разным и составляло от 50 (при трансмутации радиоактивного кобальта) до нескольких сотен. Нумерация всех экспериментов сквозная.

Исходные данные об использованных мишенях, параметрах разряда и полученных результатах под очередными номерами записывали в лабораторные журналы.

Форму импульсов напряжения и тока в межэлектродном промежутке РВД и фактическую длительность существования электронного пучка контролировали по осциллограммам тока и напряжения. Типичные примеры таких осциллограмм приведены на фиг.7. Как видно на этих (и многих других) осциллограммах, длительность существования электронного пучка не превышает 100 нс.

Важно отметить, что ток электронного пучка (несмотря на резкое падение напряжения на плазменном катоде РВД) лишь незначительно уменьшается в сравнении с пиковым значением. Это свидетельствует об эффективности использования плазменных катодов согласно изобретению.

После статистической обработки результатов пристрелочных экспериментов с учё-

том управляемых параметров процесса генерирования электронного пучка были установлены ориентировочные нормативы межэлектродного зазора и определены ожидаемые величины объема фокального пространства (см. таблицу 1).

Таблица 1

Зависимость межэлектродного зазора и объема фокального пространства от остальных параметров процесса генерирования электронного пучка

Средняя энергия электронов в пучке, МэВ	Размеры диэлектрического элемента плазменного катода, мм		Размеры рабочего торца анода-концентратора		Межэлектродный зазор, мм	Объем фокального пространства, мм <sup>3</sup>
	диаметр	Длина	радиус кривизны, мм	площадь, мм <sup>2</sup>		
0,2	4,0-6,0	5,0	0,25	0,75	2,0-3,0	0,02
0,5	16,0-24,0	8,75	0,45	2,4	7,0-10,5	0,12
1,0	45,0-67,0	9,5	0,73	6,7	36,5-55,0	около 0,5
1,5	80,0-120,0	15,25	около 1,0	около 12,3	≥ 59	около 1,3

В дальнейших, рабочих экспериментах соблюдение таких границ межэлектродного зазора в РВД гарантировало:

во-первых, попадание центров кривизны рабочей поверхности цельных анодов-концентраторов 6 (а при использовании мишеней 7 – также и центров кривизны их поверхностей) в фокальное пространство коллективно самофокусирующегося электронного пучка и,

во-вторых, наблюдение эффекта трансмутации при каждом импульсном разряде источника питания на РВД.

Далее, при соблюдении указанных в Таблице 1 параметров плотность тока на поверхности рабочего торца анода-концентратора 6 удавалось обеспечивать в интервале от  $10^6$  А/см<sup>2</sup> до  $10^8$  А/см<sup>2</sup>. В большинстве экспериментов по ударному сжатию этот параметр поддерживали в интервале от  $10^6$  А/см<sup>2</sup> до  $10^7$  А/см<sup>2</sup>.

Результаты всех рабочих экспериментов выглядели однотипно, а именно:

из части (в среднем около 30% по массе) исходного материала возникали продукты трансмутации в виде широкого спектра обычно стабильных изотопов разнообразных (как лёгких, так и тяжёлых и даже сверхтяжёлых трансурановых) химических элементов;

эти продукты и неизменённые по химическому составу остатки цельных анодов-концентраторов 6 (и вставных мишеней 7) разлетались из зоны ударного сжатия вещества до сверхплотного состояния преимущественно в направлении, противоположном плазменному катоду, и осаждались в виде разнообразных по форме и размерам каплеобразных скоплений на стенках вакуумной камеры РВД и/или на экранах 8, если они были использованы.

Указанные продукты собирали для исследований.

Для регистрации отдельных скоплений продуктов трансмутации и определения их положения на подложках (в частности, на экранах 8) с целью последующего исследования

элементного и изотопного состава (а в отдельных случаях – для фиксации внешней формы таких продуктов) применяли электронные микроскопы-микроанализаторы типа РЭММА-102, «Tesla» и «Cameca», а для исследования элементного и изотопного состава указанных продуктов - Оже-спектрометр модели «Jamp 10S» японской фирмы JEOL, время-пролётный лазерный масс-спектрометр импульсного действия, разработанный в Киевском национальном университете им. Т.Г. Шевченко (Украина), ионный микрозонд модели IMS-4f фирмы CAMECA и высокочувствительный масс-спектрометр модели VG9000 фирмы FINNIGAN.

В итоге всех рабочих экспериментов по ударному сжатию до сверхплотного состояния цельных анодов-концентраторов 6 было выявлено существенное несовпадение их исходного состава, который практически во всей массе мишеней каждой серии был представлен одним химическим элементом, с элементным и изотопным составом продуктов трансмутации.

Чтобы убедиться в этом, рассмотрим фигуры 8-13, на которых вертикальными штриховыми линиями отмечен заряд ядра «материнского» химического элемента.

В порядке пояснения отметим, что присутствие в продуктах трансмутации изотопов химических элементов, не входивших в состав исходного материала мишени, обозначено на фигурах 8, 10 и 12 дважды, а именно:

светлыми кружками – в соответствии с их концентрацией в указанных продуктах пик-ноядерных процессов, а

чёрными квадратами – в соответствии с их концентрацией в земной коре.

Заряды ядер этих изотопов и их массовую долю в процентах нетрудно определить, руководствуясь числовыми обозначениями соответственно по оси абсцисс и оси ординат.

На фигурах 9, 11 и 13 показано с помощью светлых треугольников и поставленных рядом химических символов относительное отклонение  $Y$  концентраций конкретных химических элементов от природной нормы, вычисленное по формуле

$$\frac{A - B}{A + B} = Y, \text{ где}$$

$A$  – доля определённого изотопа определённого химического элемента в продуктах трансмутации (% по массе), а

$B$  – доля того же изотопа того же химического элемента в земной коре (% по массе).

Как явно видно на фигурах 8, 10 и 12, трансмутация исходных меди, тантала и свинца приводит к появлению широкого спектра изотопов различных химических элементов с зарядами  $Z$  ядер, которые отличаются от заряда ядер «материнского» элемента как в меньшую, так и в большую стороны.

Однако чем больше заряд ядер материала мишени, тем выше вероятность появления стабильных трансурановых (в том числе, ещё не идентифицированных) химических элементов с атомными массами более 250 а.е.м. (а в отдельных, требующих дополни-

тельной проверки случаях – до 600 и более а.е.м.).

Присутствие атомов с такими массами, первоначально обнаруженных методом ионной масс-спектрометрии, затем проверяли хорошо известными специалистами по ядерной физике методами обратного кулоновского рассеяния альфа-частиц и протонов.

Мало того, на фигурах 9, 11 и 13 явно видно, что концентрации существенной части химических элементов в продуктах трансмутации статистически достоверно (более чем в три раза, а некоторых элементов - в 5-10 и более раз) превышают их нормальные концентрации в земной коре (см. выделенные тёмносерым цветом площади в интервале значений  $Y$  от 0,5 до 1,0). Это явным образом свидетельствует об искусственном происхождении таких продуктов пикноядерных процессов.

Сходные результаты по изменению элементного и изотопного состава были получены и в экспериментах с мишенями из радиоактивного кобальта. Однако в этих случаях основное внимание было уделено снижению радиоактивности в продуктах разлёта мишеней вследствие трансмутации радиоактивных ядер кобальта в тех частях мишеней, которые попадали в фокальное пространство, в нерадиоактивные стабильные изотопы других химических элементов.

Это снижение в разных образцах довольно существенно различалось, что можно объяснить различиями в плотности акустического контакта между внутренними стенками полостей в анодах-концентраторах и материалом вставных мишеней 7 (см. в таблице 2 выборку данных из лабораторного журнала заявителя).

Таблица 2

#### Снижение радиоактивности продуктов разлёта кобальтовых мишеней

Но- мер об- разца	Снижение гам- ма-активности, %	Номер об- разца	Снижение гам- ма-активности, %	Номер об- разца	Снижение гам- ма-активности, %
2397	47,6	2479	2,2	2588	46,5
2398	10,7	2481	22,8	2600	33,3
2425	21,6	2534	29,5	2769	28,9
2426	17,0	2558	22,9	2770	36,4

Действительно, в результате трансмутации образец №2479 был дезактивирован всего на 2,2%, тогда как образцы №2397 и №2588 утратили более 45% активности.

Далее, было точно установлено, что распределение изотопов в скоплениях атомов каждого из химических элементов, выявленных в продуктах пикноядерных процессов, существенно отличается от распределения тех же изотопов в земной коре.

Наиболее ярким примером результатов такого рода служит разительное различие между нормальным распределением изотопов никеля в природных образцах (фиг.14) и в двух скоплениях атомов никеля, которые были получены путём трансмутации меди (фигуры 15 и 16). Так, до 70% массы природного никеля составляет изотоп  $Ni^{58}$ , а в продуктах

трансмутации меди (с преобладанием в мишени изотопа  $\text{Cu}^{63}$ ) доля  $\text{Ni}^{58}$  едва превысила 10%. Аналогично, заметно (практически вдвое) снизилась концентрация изотопа  $\text{Ni}^{60}$ , тогда как концентрация  $\text{Ni}^{62}$  резко возросла.

И, наконец, ярким доказательством ударного сжатия вещества до сверхплотного состояния способом согласно изобретению служит выброс из фокального пространства РВД довольно крупных тел, форма которых наглядно свидетельствует о существовании в этом пространстве условий для кратковременного появления по меньшей мере электронно-ядерной и, весьма вероятно, электронно-нуклонной плазмы.

Так, на фиг.17 на фоне медного экрана видна по существу железная полусфера, которая содержит 93% Fe по массе с примесями изотопов кремния и меди.

Очевидно, эта полусфера является обломком сферического тела, которое образовалось из существенной части цельного медного анода-концентратора 6 (образец №4908 в соответствии с лабораторным журналом заявителя). Она имеет внешний диаметр около 95 мкм и внутреннюю практически концентричную сферическую полость диаметром около 35 мкм. Неровности на большей части кольцевого торца полусферы связаны с расколом исходной сферы.

Нетрудно предположить, что в эксперименте с образцом №4908 центр фокального пространства электронного пучка практически совпал с центром кривизны мишени. В этом случае солитоноподобный импульс плотности самофокусировался в объёме, который в описанном продукте представлен сферической полостью.

#### *Промышленная применимость*

Предложенное устройство для ударного сжатия вещества может быть реализовано с использованием доступных на рынке комплектующих изделий, а на основе предложенного способа могут быть разработаны и осуществлены высокоэкономичные и экологически безопасные технологические процессы:

во-первых, синтеза стабильных трансурановых химических элементов, что чрезвычайно важно для расширения знаний о природе;

во-вторых, трансмутации ядер известных химических элементов для экспериментального получения их стабильных изотопов и для обезвреживания радиоактивных материалов (включая отходы атомной энергетики), содержащих долгоживущие радиоактивные изотопы; и,

в-третьих, инерциального термоядерного синтеза с применением в качестве топлива широко распространённых в природе химических элементов и их композиций.

По доверенности

В. Куцевич





## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ ударного сжатия вещества с использованием релятивистского вакуумного диода (РВД), который имеет осесимметричные вакуумную камеру с электропроводными стенками, плазменный катод и анод-концентратор, включающий:

изготовление мишени в виде осесимметричной детали из конденсированного вещества, которая служит по меньшей мере частью анода-концентратора,

установку анода-концентратора в РВД с зазором относительно плазменного катода практически на одной с ним геометрической оси и

импульсный разряд источника питания на РВД в режиме самофокусировки электронного пучка на поверхности анода-концентратора,

**отличающийся тем, что**

используют осесимметричный плазменный катод в виде электропроводного стержня с торцевым диэлектрическим элементом, у которого периметр заднего торца по меньшей мере в плоскости, перпендикулярной оси симметрии катода в целом, охватывает периметр указанного стержня с непрерывным зазором, а площадь эмитирующей поверхности превышает максимальную площадь поперечного сечения анода-концентратора,

анод-концентратор устанавливают с таким зазором относительно плазменного катода, при котором центр кривизны рабочей поверхности анода-концентратора расположен внутри фокального пространства коллективно самофокусирующегося электронного пучка,

и воздействуют на анод-концентратор электронным пучком с энергией электронов не менее 0,2 МэВ, плотностью тока не менее  $10^8$  А/см<sup>2</sup> и длительностью не более 100 нс.

2. Способ по п.1, **отличающийся тем**, что в составе РВД используют осесимметричный плазменный катод, у которого электропроводный стержень заострён, а торцевой диэлектрический элемент имеет отверстие для насадки на указанный стержень, посадочная часть которого вместе с остриём находится внутри указанного отверстия.

3. Способ по п.1, **отличающийся тем**, что мишень формируют в виде вставки в центральную часть анода-концентратора РВД, диаметр которой выбирают в пределах от 0,05 до 0,2 максимального поперечного размера  $d_{max}$  анода-концентратора.

4. Способ по п.1, **отличающийся тем**, что по меньшей мере той части анода-концентратора, которая обращена к плазменному катоду, перед установкой в РВД придают сфероидальную форму.

5. Способ по п.3, **отличающийся тем**, что мишень формируют в виде сфероидального тела, которое плотно фиксируют внутри анода-концентратора таким образом, что центры внутреннего и внешнего сфероидов практически совпадают.

6. Способ по п.1, **отличающийся тем**, что на анод-концентратор воздействуют электронным пучком с энергией электронов до 1,5 МэВ, плотностью тока не более  $10^8$  А/см<sup>2</sup> и длительностью не более 50 нс.

7. Способ по п.6, **отличающийся тем**, что плотность тока в электронном пучке не

превышает  $10^7$  А/см<sup>2</sup>.

8. Способ по п.1, **отличающийся** тем, что остаточное давление в вакуумной камере РВД поддерживают на уровне не более 0,1 Па.

9. Устройство для ударного сжатия вещества на основе РВД, имеющее:

прочный газонепроницаемый корпус, часть которого изготовлена из электропроводного материала, выполнена осесимметричной и ограничивает вакуумную камеру, и

установленные в вакуумной камере с зазором практически на одной геометрической оси осесимметричные плазменный катод и анод-концентратор, из которых по меньшей мере катод подключён к импульсному высоковольтному источнику питания,

**отличающееся** тем, что

плазменный катод выполнен в виде электропроводного стержня с торцевым диэлектрическим элементом, у которого периметр заднего торца по меньшей мере в плоскости, перпендикулярной оси симметрии катода, охватывает периметр указанного стержня с непрерывным зазором, а площадь эмитирующей поверхности превышает максимальную площадь поперечного сечения анода-концентратора,

по меньшей мере один из электродов РВД снабжён средством регулирования межэлектродного зазора, а

расстояние от общей геометрической оси указанных плазменного катода и анода-концентратора до внутренней стороны электропроводной стенки вакуумной камеры превышает  $50d_{max}$  где  $d_{max}$  - максимальный поперечный размер анода-концентратора.

10. Устройство по п.9, **отличающееся** тем, что электропроводный стержень плазменного катода заострён, а торцевой диэлектрический элемент имеет отверстие для насадки на указанный стержень, посадочная часть которого вместе с остриём находится внутри указанного отверстия.

11. Устройство по п.9, **отличающееся** тем, что анод-концентратор имеет круглую в поперечном сечении форму и целиком выполнен из электропроводного в основной массе материала, подлежащего трансмутации.

12. Устройство по п.9, **отличающееся** тем, что анод-концентратор выполнен составным и включает по меньшей мере однослойную твёрдую оболочку и плотно охваченную этой оболочкой вставную мишень в виде тела вращения, которая изготовлена из произвольного конденсированного материала и имеет диаметр, выбранный в пределах  $(0,05-0,2) \cdot d_{max}$ , где  $d_{max}$  - максимальный поперечный размер анода-концентратора.

13. Устройство по п.9, **отличающееся** тем, что в хвостовой части анода-концентратора установлен по меньшей мере один экран из предпочтительно электропроводного материала.

14. Устройство по п.13, **отличающееся** тем, что указанный экран выполнен в виде тонкостенного тела вращения, диаметр которого составляет не менее  $5d_{max}$  и которое удалено от ближайшего к плазменному катоду торца этого анода на расстояние до

$20d_{max}$ , где  $d_{max}$  – указанный максимальный поперечный размер анода-концентратора.

15. Устройство по п.14, отличающееся тем, что указанное тонкостенное тело вращения со стороны анода-концентратора имеет плоскую или вогнутую поверхность.

16. Осесимметричный плазменный катод для РВД, имеющий электропроводный стержень для подключения к импульсному высоковольтному источнику питания и торцевой диэлектрический элемент, отличающийся тем, что по меньшей мере в плоскости, перпендикулярной оси симметрии катода, периметр заднего торца диэлектрического элемента охватывает периметр указанного стержня с непрерывным зазором.

17. Катод по п.16, отличающийся тем, что его электропроводный стержень заострён, а торцевой диэлектрический элемент имеет отверстие для насадки на указанный стержень, посадочная часть которого вместе с остриём находится внутри указанного отверстия.

18. Катод по п.17, отличающийся тем, что торцевой диэлектрический элемент имеет глухое отверстие.

19. Катод по п.17, отличающийся тем, что торцевой диэлектрический элемент имеет сквозное отверстие.

20. Катод по п.16, отличающийся тем, что торцевой диэлектрический элемент изготовлен из материала, выбранного из группы, состоящей из карбоцепных полимеров с одинарными углерод-углеродными связями, композиционных материалов с органическими связующими типа гетинакса или текстолита, эбеновой древесины, природной или синтетической слюды, чистых оксидов металлов III-VII групп периодической системы элементов Менделеева, неорганических стёкол, ситаллов, войлока из базальтового волокна и керамических диэлектриков.

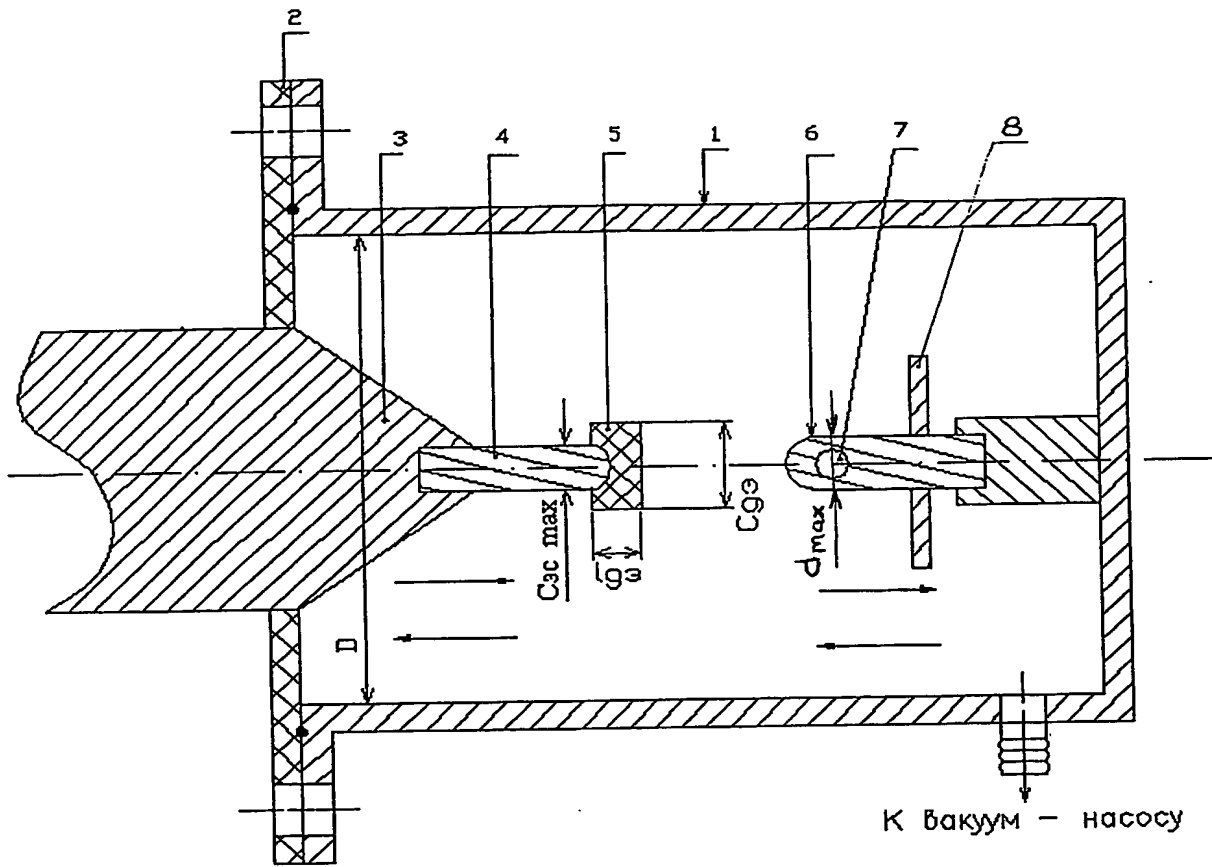
21. Катод по п.16, или п.17, или п.18, отличающийся тем, что торцевой диэлектрический элемент имеет развитую поверхность.

22. Катод по п.16, или п.17, отличающийся тем, что минимальный поперечный размер указанного диэлектрического элемента  $c_{дэ мин} = (5-10) \cdot c_{эс макс}$ , а длина этого элемента  $l_{дэ} = (10-20) \cdot c_{эс макс}$ , где  $c_{эс макс}$  - максимальный поперечный размер электропроводного стержня.

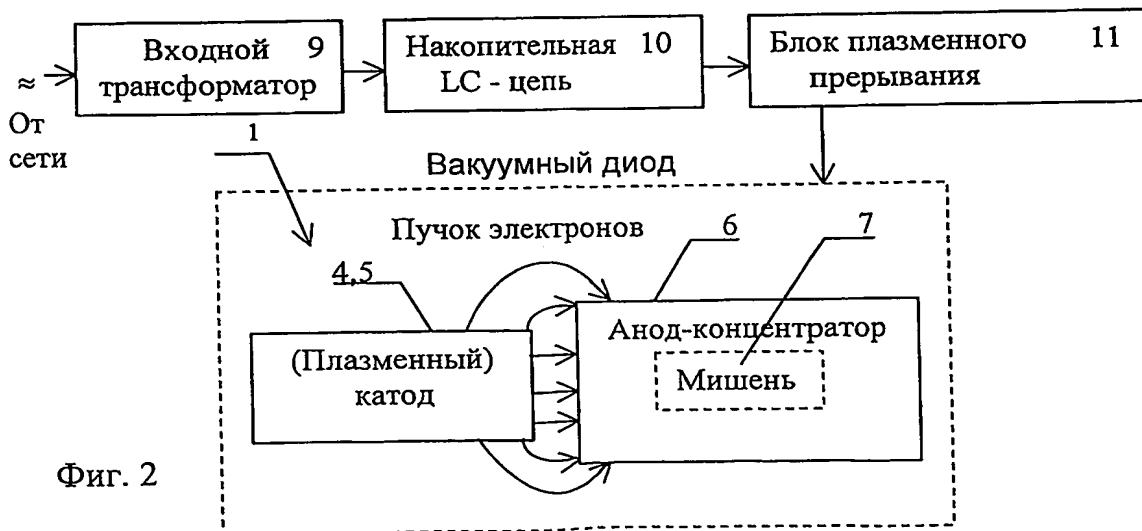
По доверенности



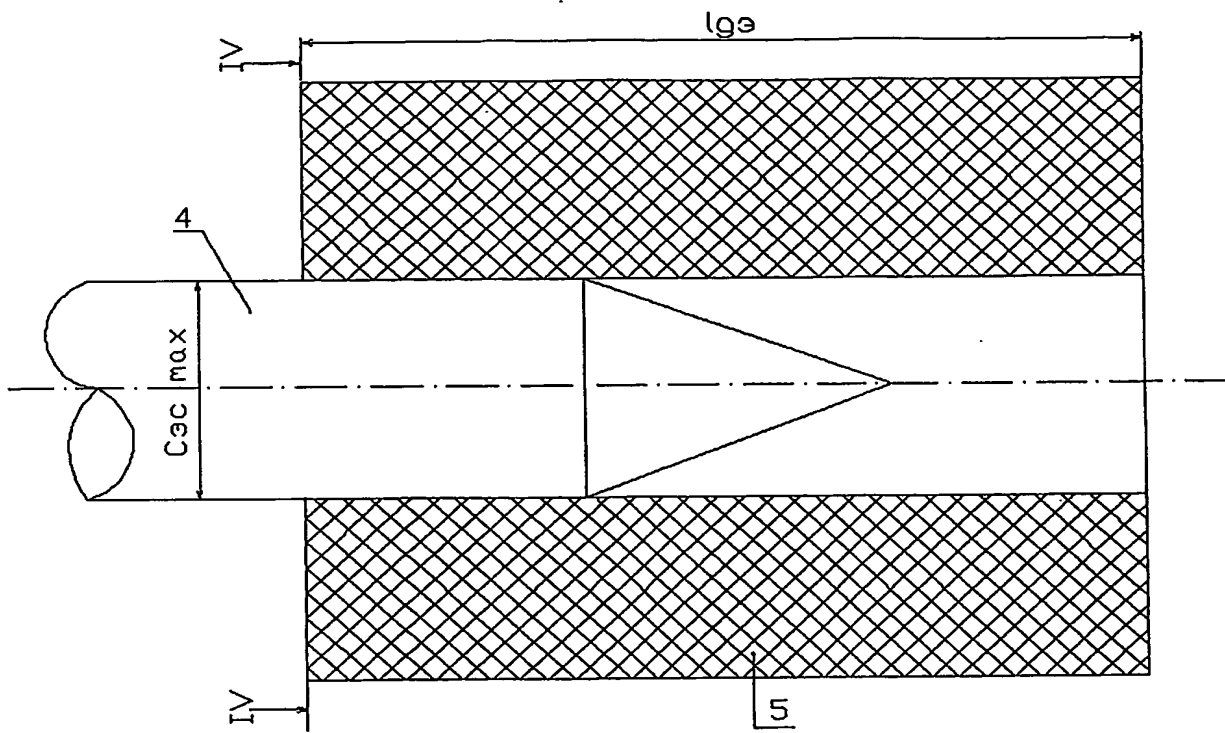
В. Куцевич



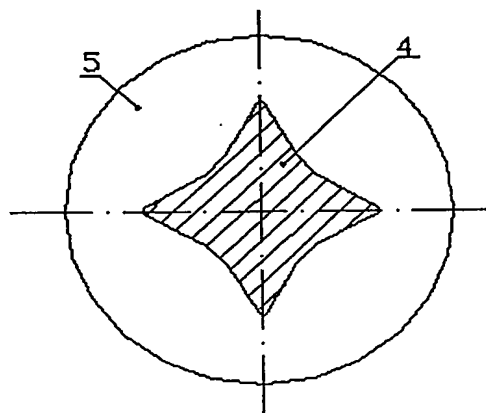
Фиг. 1



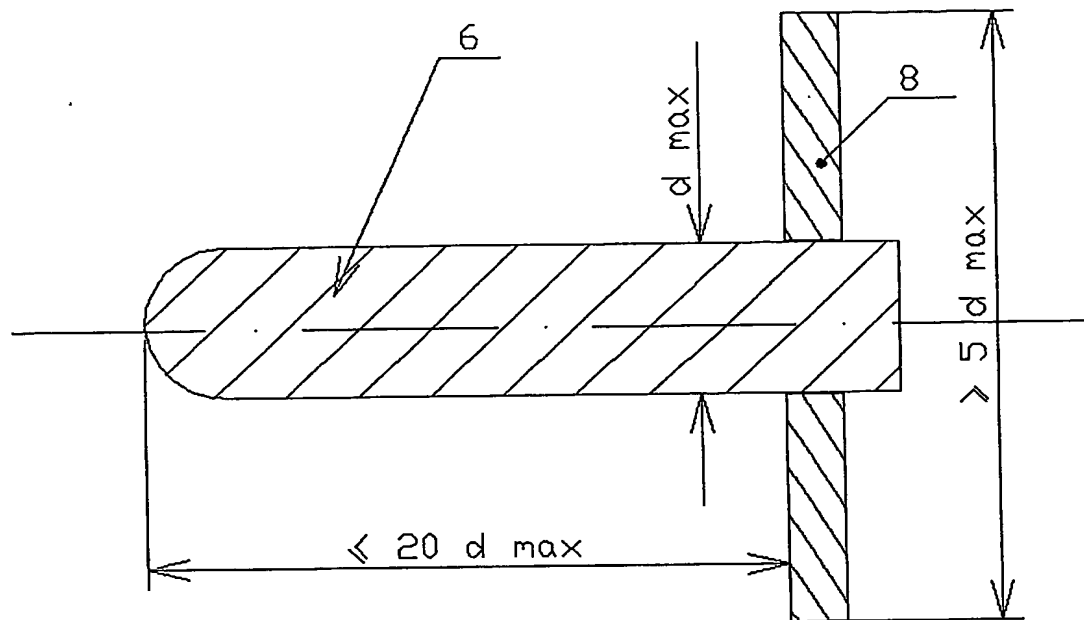
Фиг. 2



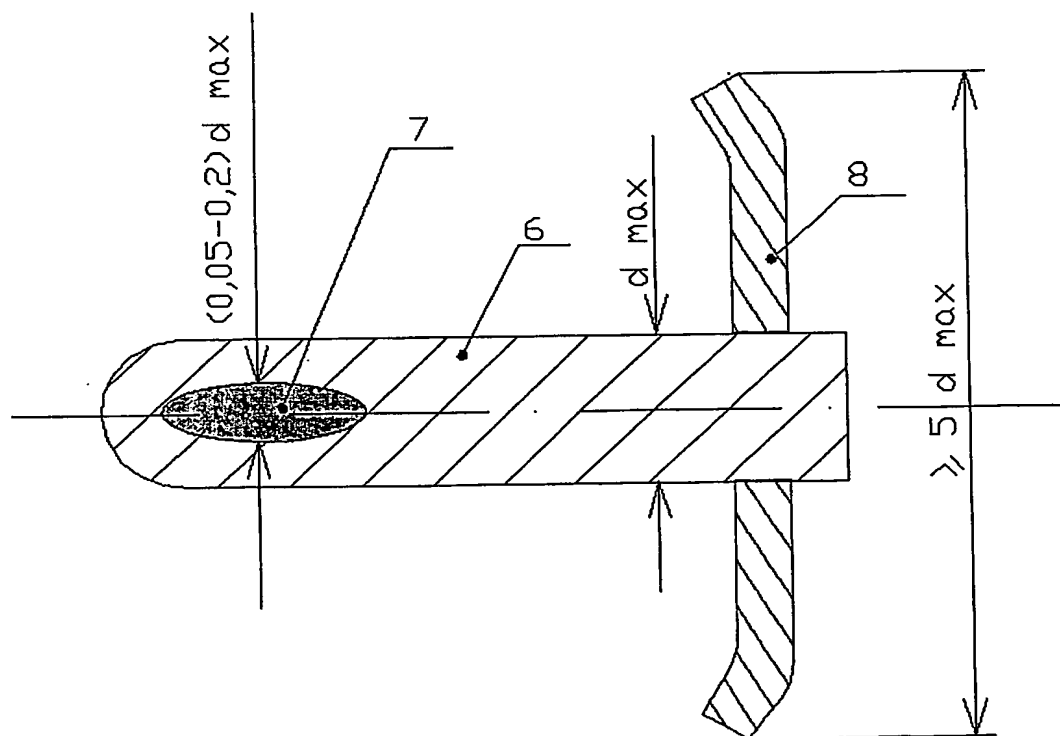
Фиг. 3



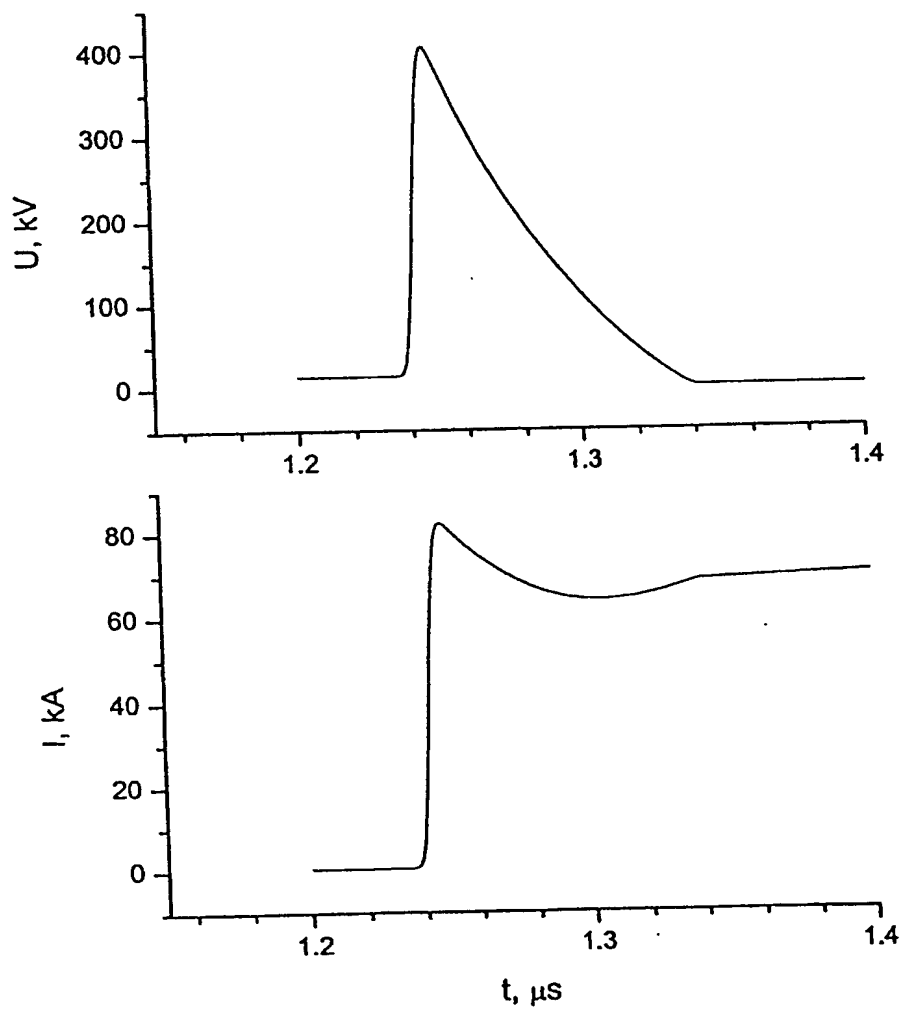
Фиг. 4



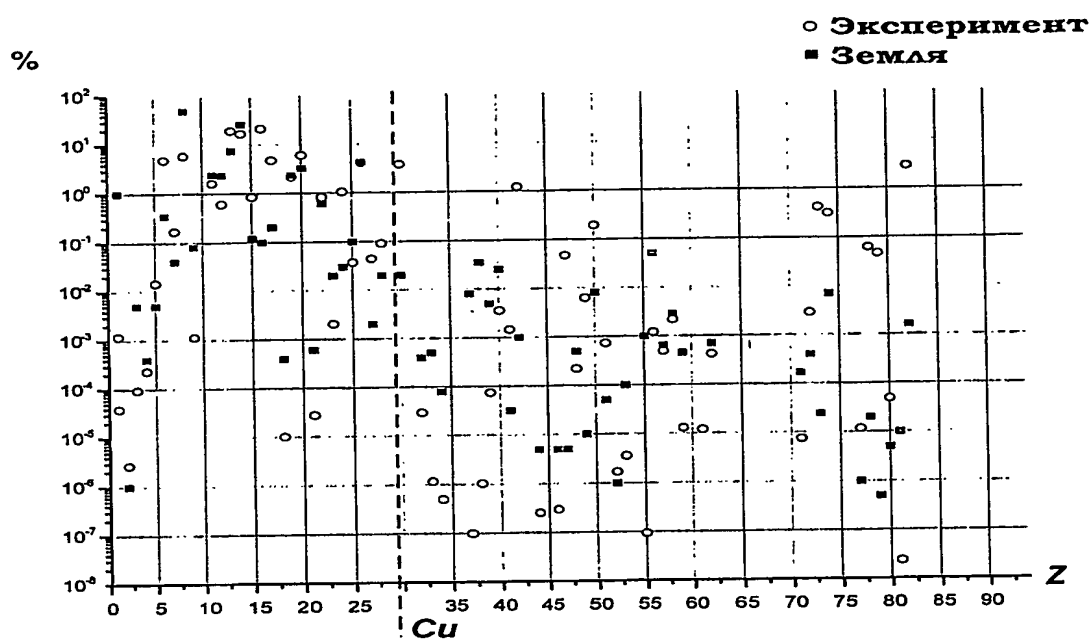
Фиг. 5



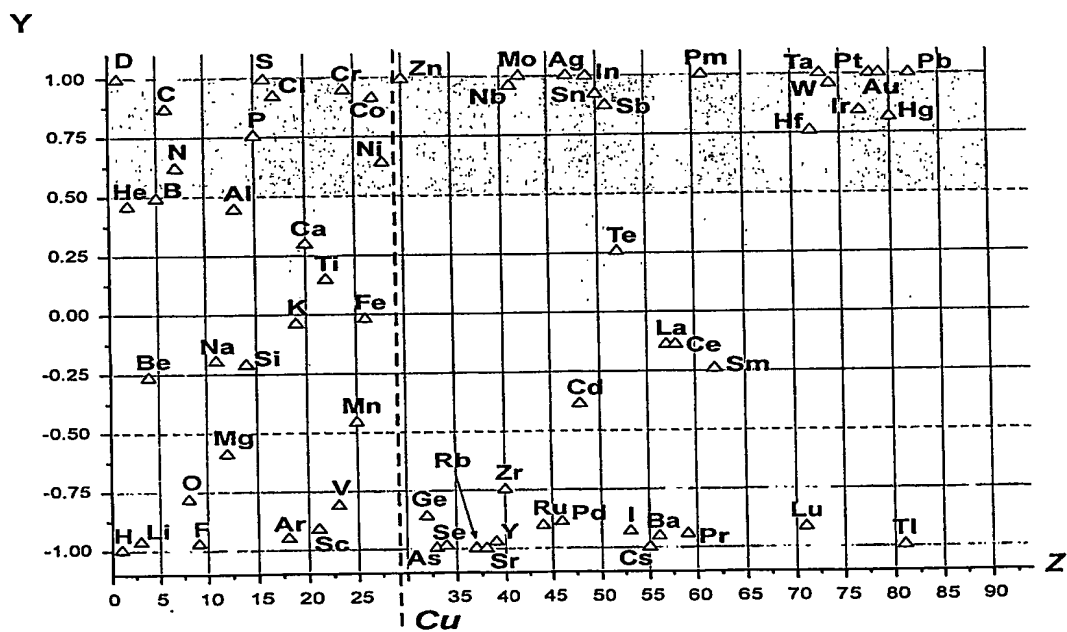
Фиг. 6



Фиг. 7

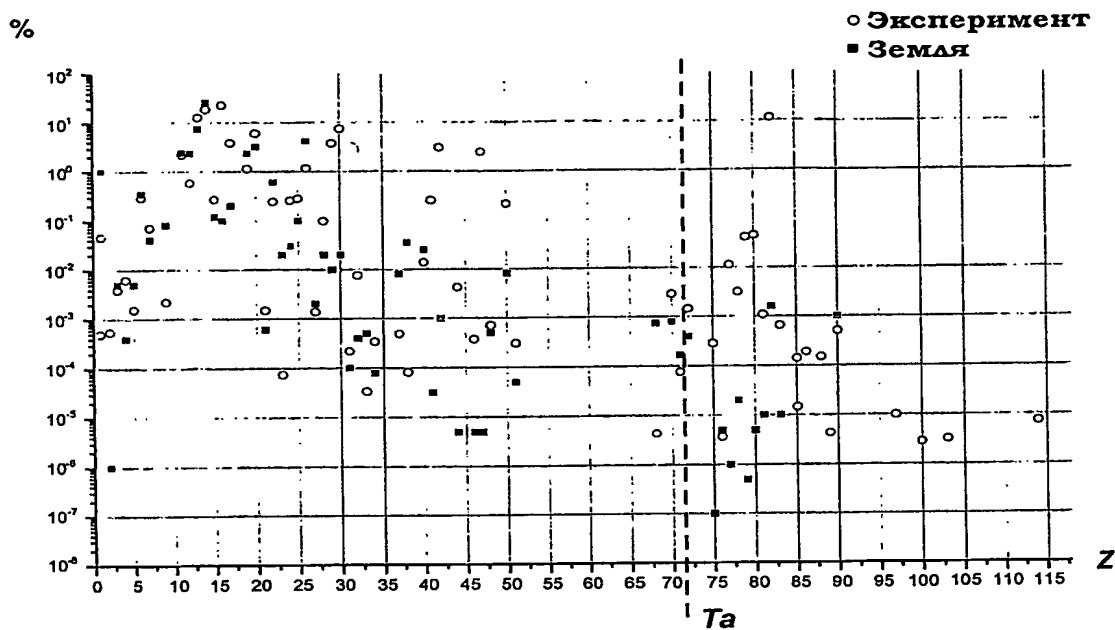


Фиг. 8

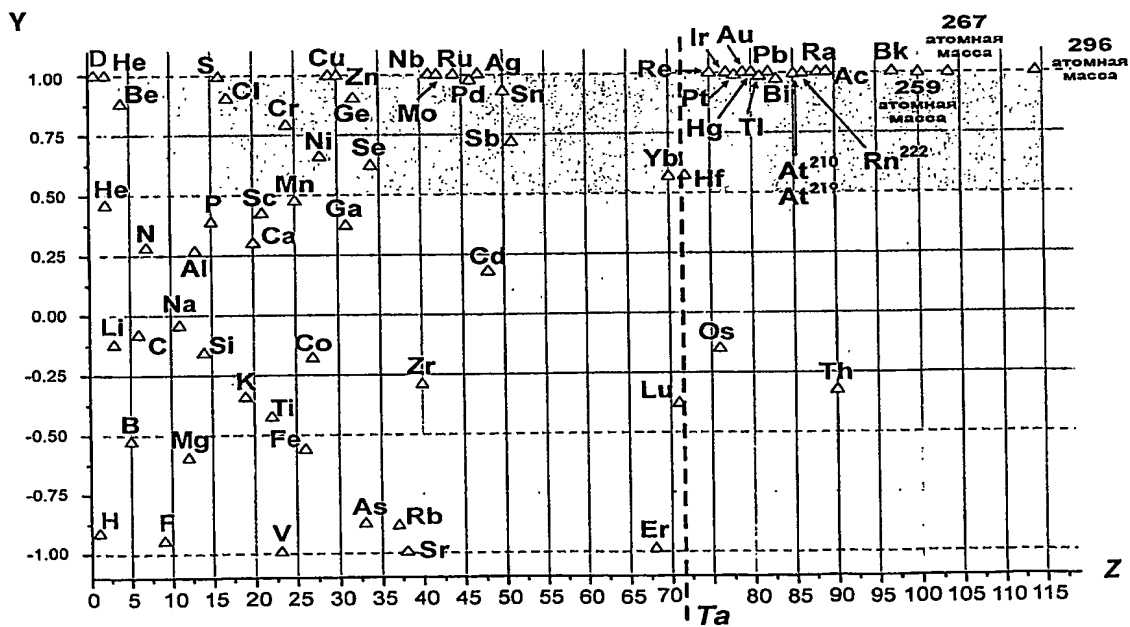


Фиг. 9

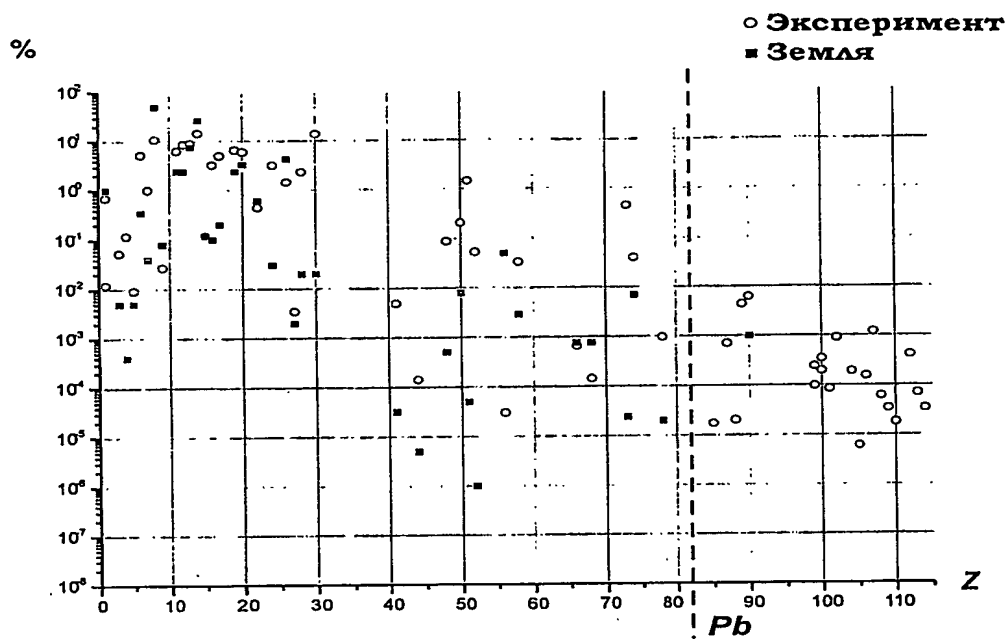




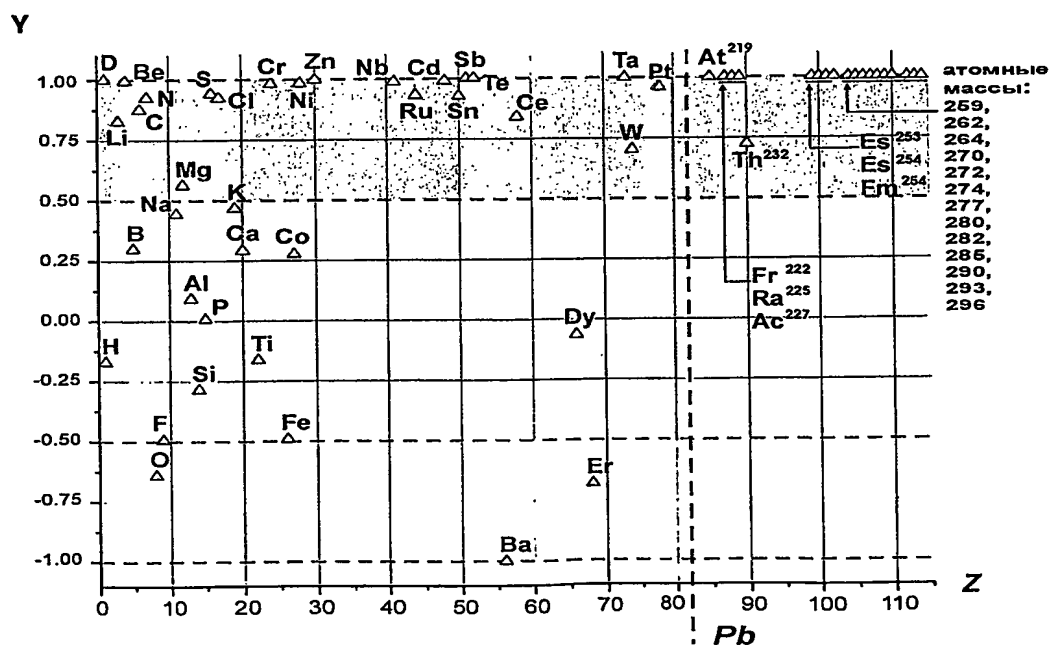
Фиг. 10



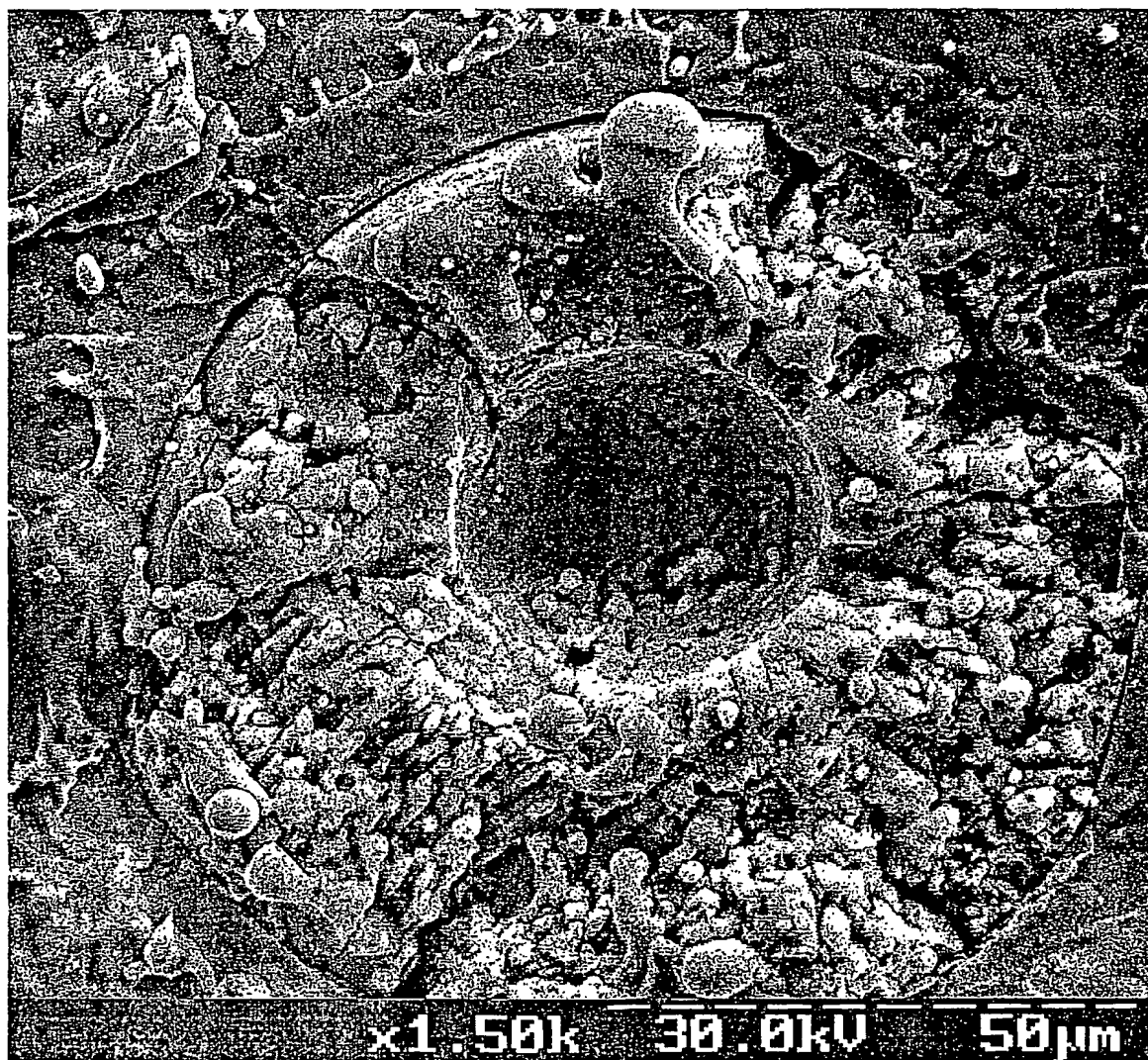
Фиг. 11



Фиг. 12

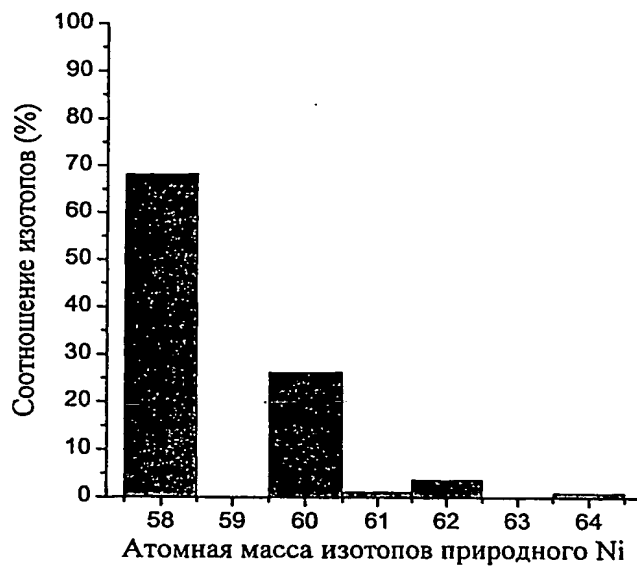


Фиг. 13

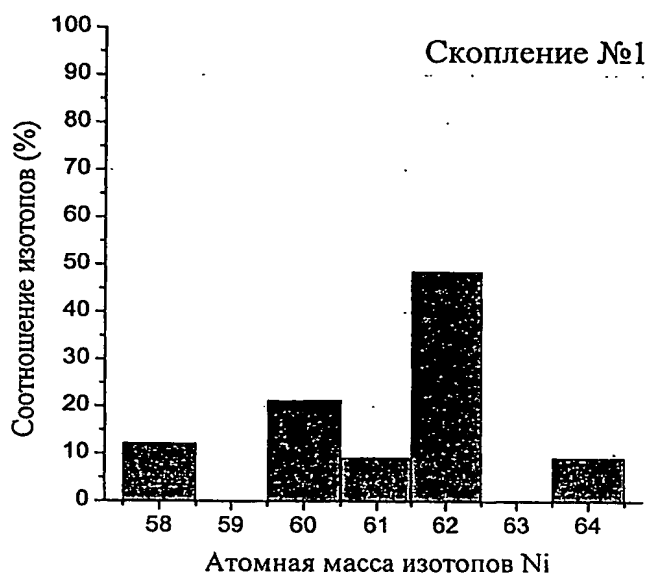


Фиг.14

Способ ударного  
сжатия вещества...



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17

## РЕФЕРАТ

СПОСОБ УДАРНОГО СЖАТИЯ ВЕЩЕСТВА в осесимметричных релятивистских вакуумных диодах (РВД) с плазменным катодом и анодом-концентратором включает изготовление осесимметричной мишени из конденсированного вещества, которая служит по меньшей мере частью анода-концентратора, соосное размещение указанных электродов и импульсный разряд источника питания на РВД. Для сжатия существенной части вещества мишени до сверхплотного состояния используют плазменный катод в виде электропроводного стержня с торцевым диэлектрическим элементом, у которого периметр заднего торца в плоскости, перпендикулярной оси симметрии, охватывает периметр стержня с непрерывным зазором, а площадь эмитирующей поверхности превышает максимальную площадь поперечного сечения анода-концентратора, анод-концентратор устанавливают относительно плазменного катода так, что центр кривизны рабочей поверхности анода-концентратора расположен внутри фокального пространства коллективно самофокусирующегося электронного пучка, и воздействуют на анод-концентратор электронным пучком с энергией электронов не менее 0,2 МэВ, плотностью тока не менее  $10^6$  А/см<sup>2</sup> и длительностью не более 100 нс.

УСТРОЙСТВО на основе РВД и ПЛАЗМЕННЫЙ КАТОД для осуществления способа.

3 н.п.ф.; 19 з.п.ф.; 17 ил.; (фиг.1).